

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 6 月 17 日現在

機関番号：13801

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2014

課題番号：23300024

研究課題名(和文)リアルタイム画像カーナビのための効率的車々間データ配信技術

研究課題名(英文)Efficient data dissemination technologies for realtime visual car navigation systems

研究代表者

石原 進 (Ishihara, Susumu)

静岡大学・工学研究科・准教授

研究者番号：10313925

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,200,000円

研究成果の概要(和文)：ドライバーの行きたい場所の「現在の画像」を車々間通信および広域通信システムの併用によって伝達し、ドライバーに掲示する「リアルタイム画像カーナビ」の実現をめざし以下の要素技術を開発した。(1)位置依存情報に対する地理的、時間的に変化する要求発生に対応したVANET上の位置依存情報配信手法、(2)ランダムネットワークコーディングと車両移動方向情報を利用した高信頼性位置依存情報配布方式、(3)ソフトウェア無線機を用いたアドホックネットワークデータ配信手法の評価テストベッド、(4)複数地点での車載カメラ画像を入力とした仮想視点画像の自動生成方式、他。

研究成果の概要(英文)：Aiming "Realtime visual car navigation system" that delivers drivers pictures of places where the drivers want to go via vehicular ad hoc networks and wide area wireless communication system, we developed the following elemental technologies. i) VANET-based location dependent data dissemination scheme that adapts to geographically and timely changing request generation patterns, ii) Fast and reliable location dependent data dissemination scheme that uses random network coding and moving direction of vehicles, iii) Software-radio based testbed for data dissemination schemes in lossy ad hoc networks, iv) Shifted perspective image generation scheme using two in-vehicle camera images, etc.

研究分野：情報通信工学

キーワード：車々間アドホックネットワーク リアルタイム画像カーナビ 位置依存情報配信 アドホックネットワークテストベッド ネットワークコーディング GPGPUによる無線シミュレーション高速化 周期的送信電力変更 仮想視点画像生成

## 1. 研究開始当初の背景

快適なドライブ、時間の節約を望むドライバーにとって、目視できない移動先の道路状況を知ることが、共通の望みである。研究開始当初のカーナビは、移動先の数値的道路状況をグラフィカルに表示するが、移動先の「現在の」風景そのものを知ることはできなかった。車両の移動先に今いる車両が撮影した風景画像・動画像をタイムリーにドライバーに提供するリアルタイム画像カーナビ(図1)が出来れば、ドライバーはより適切な運転計画を立てやすくなり、渋滞の緩和、それによるエネルギー消費量の削減・事故防止、移動時間の節約、ドライバーへの心理的な安心感など、様々な利点が得られるはずである。

車両間での情報共有の方法としては、携帯電話等の広域無線通信システムを用いるもの、路車間の通信インフラを用いるもの、車々間の直接あるいはマルチホップの通信を用いたものが考えられる。道路状況の映像を、そこに向かってくる車両に提供するという用途を想定すると、データが狭い地理的範囲で用いられること、都市部や主要道路以外では路車間通信インフラの整備は困難であることから、車々間アドホックネットワーク(VANET)を利用することは一つの選択肢となり得る。

しかしながら、多数の車両間での車々間通信で「現在の風景」を共有するためには、画像通信のために多くの無線通信量が必要である。このような無線通信が、車両の衝突防止、歩行者安全確保、緊急車両の存在通知などの安全確保に必要となる最低限の車両間、路車間信号を妨げることがあってはならない。その一方、車両密度が低い場合には単純な車々間通信のみでの情報配信は困難であるため、積極的かつ確実に情報を配送するための対策が必要である。具体的には、一時的な車々間通信の不能状態の対策として需要の高いデータを事前に車々間通信ネットワークで事前に配布しておく方法や、車々間、路車間、広域サービスという異なる通信手段を道路状況やデータを必要とする車両の台数等に応じて動的に組み合わせて使用する仕組みが必要である。

これまでに Delay/Disrupt Tolerant Network (DTN)の研究に見られるように車両間接続性が低い場合のデータ転送方法を主な対象としたプロトコルや、密集地での無線通信信頼性の向上を目指したデータ送信頻度や送信電力の制御、ネットワークコーディングを用いた手法の開発が行われてきたが、これらを統合的に扱い、画像等の要領が大きいデータの効率的かつ信頼が高いデータ配信を実現する方法は実現されていなかった。

## 2. 研究の目的

本研究では、ドライバーの行きたい場所の「現在の画像」を車々間通信および広域通信

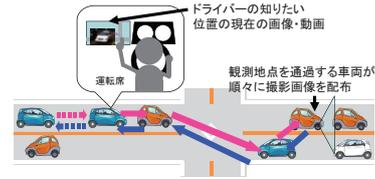


図1. リアルタイム画像カーナビ

システムの併用によって伝達し、ドライバーに掲示する「リアルタイム画像カーナビシステム」の実現をめざし、車々間通信によって車載カメラで撮影した画像情報を、それを必要とする車両へ低遅延かつ無線通信路の混雑を誘発することなく配布し、車両間で共有するための要素技術を開発することを目的とした。

## 3. 研究の方法

以下の3つのサブテーマを設定して研究を進めた。

【A: ネットワーク】複数の車両から発せられる異なる地点の画像への要求をまとめデータ配信トラフィックが最小となる画像送信元車両を選定する方法、車々間通信に加え路車間・広域サービスを補助的に利用した配信経路の動的制御、ネットワーク分断対策としてのデータ複製の事前配布を行う手法を開発する。

【B: 送信頻度・電力制御機構】車両による定期送信信号(ビーコン)と画像データの競合を考慮し、ビーコンと画像データの送信頻度、送信電力制御手法、ならびに競合によって生じるデータ消失対策としてネットワークコーディング技術を利用した中継データの加工方法を開発し、それらの効果を理論・シミュレーション・エミュレーションで定量的に明らかにする。

【C: 画像再構成機構】複数の車両から要求された注視点の異なる画像要求をマージし、撮影画像の補整を行い、ドライバーにはあたかも任意の場所の定点カメラから撮影されたように画像を表示する機構を設計・開発する。

上記のA, Bに関して、ネットワーク分野の研究者(代表・石原)が担当し、Cに関しては、主に画像処理分野の研究者(分担者・山下、金子、小林)が共同して行った。また、研究協力者との協力によりITS業界の産業動向を確かめつつ研究を進めた。

サブテーマA, Bの実施にあたってはネットワークシミュレーションによる設計、評価を基本として研究を進めたが、その効率化のため、GPGPUを用いた無線ネットワークの高速化手法の開発を行った。また、ソフトウェア無線を用いた実デバイスを用いた小規模実験環境の構築も行った。

サブテーマCの実施にあたっては、同一道路上の2つの視点での画像から、その中間に

ある任意の地点からみた仮想視点画像を生成することを具体的目標に据え、以下の戦略で方式を設計した。i) 道路の脇に建物・看板・壁などの垂直に立つ物体が多く存在する状況を想定し、2つの画像から(線分)エッジにもとづいた特徴点を抽出し、その中から選択した特徴点について、マッチングを行い、3次元位置を推定する。ii) これに基づいて視点を変更した画像を透視投影の原理に基づいて生成する。

#### 4. 研究成果

(1) 位置依存情報に対する地理的、時間的に変化する要求発生に対応した位置依存情報配信手法(Live VANET CDN)の開発  
 車両が生成した位置依存情報を、ビーコンとともに拡散される要求に応じて情報発生位置と要求元間の地域内で配信し続けることで、車両から発生する位置依存情報に対する要求に対して確実かつ低トラフィックで応答を提供する方法 Live VANET CDN を開発した(雑誌論文[1]学会発表[8, 9, 14])。本手法は、要求発生源の地理的、時間的変化に対応する他、近隣地域で発生した同一位置への要求をマージし、冗長なデータ配信トラフィックを抑制する。この方式は例えば、道路上の標識や、ニュースで知り得た情報をもとに同一地域の車両が特定の場所(交差点やランドマークなど)の光景を見ようと一時的に類似した要求を発生することを想定したものである。

カメラ撮影画像等の位置依存情報を発生させた車両はその位置依存情報のコピーを、その情報の複製配布範囲を定めたデータとともに周辺の車両に適切な方式(例えば筆者らによる RD 方式等)で配布する。初期段階では、この配布範囲は位置依存情報発生源周辺の地域(例えば、同一道路セグメント、あるいは隣接道路セグメントも含む範囲)とする。

位置依存情報を求める車両は、全ての車両が定期的にブロードキャストするビーコン packets に、自身が求める位置依存情報の発生源を示す位置情報および自分自身の位置を含めた要求メッセージを含めて送信する。この処理を求めるデータが得られるまで行う。要求メッセージを含むビーコン packets を受信した車両は、それを自身が送信するビーコン packets に含めて送信する。これにより、要求メッセージが道路上の車両に配布される。該当する位置依存情報のコピーをもつ

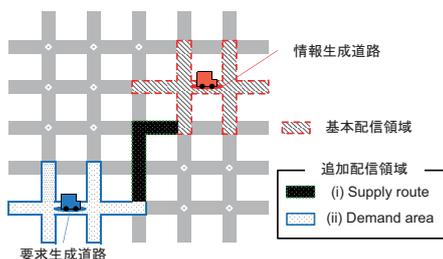


図 2. Live VANET CDN の情報配信戦略

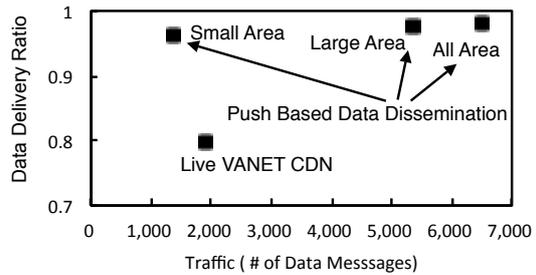


図 3. Live VANET CDN によるデータ配信トラフィックとデータ配信成功率

車両がこの要求メッセージを受信すると、要求メッセージに含まれる要求者の位置と発生源の位置に基づいて、その配布範囲を更新する。この結果、位置依存情報がそれを求める車両の周辺まで配布されるようになる。近接した地点から同じ位置に対する要求が複数発生した場合これらの要求はマージされることになり、冗長な情報配布トラフィックは抑制される。

車々間トラフィックシミュレータと車々間無線ネットワークシミュレータを用い、道路網の複数の地点で要求が発生し、時間とともに要求の発生地点の分布が変化する状況下で要求された情報配信を行うシミュレーションを行った結果、Live VANET CDN は、情報を配信する領域を一律に定めて情報配信する場合に比べ、低トラフィックで情報を必要とする車両に対し高い確率で情報を配信できることを確認した(図 3)。

#### (2) Demand Map に基づく位置依存情報要求の集約とそれに基づくデータ配信手法の開発

車両が発生する位置依存情報への発生位置とその要求の宛先位置の地理的分布を VANET 上の通信によって大局的に把握し、これに基づいて需要の高い位置依存情報を適切な VANET 上の経路で配信するための枠組みを提案し、時間的に変化する要求の分布情報(Demand Map)を共有するための効率的な手法を設計した(学会発表[1, 3, 11])。この手法では、Soft state sketch と呼ばれる統計的手法に基づいて、分散して発生した要求の情報を小さなビーコンメッセージの交換を繰り返すことによりマージしていく。こうして集約された要求の分布情報(位置、需要の高さ)と車両の位置、周辺の車両の存在に基づいて、適切なデータ送信経路を構築する。

#### (3) ランダムネットワークコーディングと車両移動方向情報を利用した高信頼性位置依存情報配布方式の開発

VANET における位置依存情報の特定地域への配信にあたり、ランダムネットワークコーディングとデータの発生源の位置、車両の移動方向、データ発生からの経過時間に基づいたデータ転送処理の可否の制御により、短時間かつ高い信頼性で配信を可能とする手法

を開発した（雑誌論文[4]学会発表[17]）。シミュレーションにより、特にランダムネットワークコーディングに加え、車両の移動方向に基づいたデータ転送処理判定を行う方式が車両密度の高さにかかわらず常に短時間で高い配信成功率を達成することを確かめた。

#### (4) 周期的な送信電力変更によるビーコンパケット配信信頼性の向上

車両密度が高い場合でも、近隣車両に対し高頻度にビーコンを確実に届けるほか、遠方の車両に対してもビーコンの到着間隔の増大を回避できるように車々間通信におけるビーコン送信電力を周期的に変更する手法を開発し、シミュレーションによりその効果を確認した（学会発表[7]）。この手法では、例えば事故防止のために送信する毎秒 10 回送信するビーコンパケットに対し、周期内に送信するパケットの送信電力を 1dBm, 2dBm, 3dBm, …10dBm のように異なる値とする。

#### (5) ソフトウェア無線機を用いたアドホックネットワークデータ配信手法評価向けテストベッドの構築

PC ベースのソフトウェア無線プラットフォームを用いて、送信電力の抑制と単純化された MAC プロトコルによるデータ配信を行うことで狭い範囲でパケットロスの起きやすい環境を想定した無線アドホックネットワークによるデータ配信の実験環境を構築し、実測とシミュレーションによる結果の照合によって、この実験環境が、劣悪な通信環境におけるデータ配信の基礎的評価に利用できることを確認した。（雑誌論文[2, 3][16]）

#### (6) セルラネットワークと VANET を併用したリアルタイム画像カーナビ実現方法

セルラネットワークを基本としたリアルタイム画像カーナビの実現方法を検討し、ドライバーの欲する画像を選出するためのメタデータ（撮影位置、時刻等）の収集を、車々間通信を用いた近接車両間での情報交換を利用して宛先位置付近にいる車両に行わせることで、サーバが収集すべき情報のデータ量を減らし、システムのスケーラビリティを向上させる手法を開発した（学会発表[6]）。道路一方向あたりの平均交通量を 200[台/h]とし、要求の宛先位置を固定としたシナリオにおいてこの手法をシミュレーション評価した結果、同手法は全車両が撮影した画像のメタデータを定期的にサーバに送信し、サーバがメタデータを基に画像を選出する方式と比べセルラ網のトラフィックを 34%に抑えられることが確認できた。

#### (7) ドライバーの意図を汲んだ画像撮影位置判定方法の開発

リアルタイム画像カーナビに対する曖昧性を含む画像取得指示（例えば口頭による

「次の交差点」という指示）に対し、ドライバーのプロファイルやコンテキスト（通常使用する道、初めての道路など）に基づいて画像撮影位置を調整するためのアーキテクチャを設計した。また、アンケートに基づいて、コンテキストに基づいた画像選択のための判断基準を構築した（学会発表[2, 12]）。

#### (6) GPGPU を用いた無線ネットワークシミュレータの高速化

Java ベース無線ネットワークシミュレータ JiST/SWANS におけるパケット到達性判定処理を GPGPU により並列処理する方法を設計・実装し、実験によりその効果を確認した（学会発表[18]）。JiST/SWANS がもつ最も単純なノード管理方式 LinearList にたいして GPGPU による並列化を導入した結果、ノード数 500 台の場合で約 3.4 倍、ノード数 1000 台の場合に約 4.9 倍の速度向上を確認できた。

#### (7) 複数画像上の対応点の 3 次元位置推定技術の開発

任意視点での画像生成のための要素技術として、SfM (Structure from Motion) を用いて、複数の画像から対応の取れる点の 3 次元位置を推定する技術の実装・検証を行った（学会発表[15]）。屋外環境において、対応が取れる範囲では 3 次元像を構築し任意視点での画像を生成可能であることが確認された。他方で、車載カメラで撮影した道路状況の画像に対して、視点を仮想的に前方に移動させた画像生成およびその無線通信に関する実機検証を行った。提案する 2 つの画像を統合する方法を簡略化し、後方視点の画像のみから視点を前方に移動した画像の生成を行った。画像生成を行うための投影面については、道路から一定距離・一定高さの面を道路両側に 1 つずつを仮定した。

2 台の車両のうち 1 台に搭載された車載カメラで撮影された画像を仮想前方視点での画像に変換し（図 4）、もう 1 台の車両に無線通信 (TCP/IP) で送信する実験を行い、当該車両・送信元車両いずれとも異なる視点からの画像を得ることに成功した。走行中の車両からもオンラインで画像撮影・加工と転送が可能であることが確認された。

#### (8) 仮想視点画像の生成

2 つの視点での画像の合成に関して、市街地での道路状況を撮影した画像を準備し、提案する画像生成方法の検証を行った（学会発表[4][5]）。図 5 に検証に利用した画像の例を示す。後方視点の画像から LSD による線分エッジを検出した結果を図 6 左側、マッピン



図 4. 単一視点での画像（左）とそれを用いて生成された視点変更画像（右）



図 5. 後方視点で撮影した画像 (左) と前方視点で撮影された画像 (右)

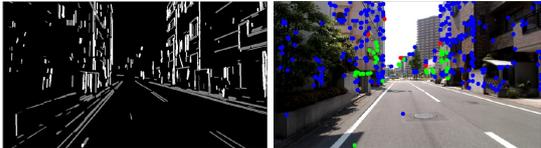


図 6. 後方視点撮影から LSD (線分エッジ) を検出した結果 (左) と線分の交点から抽出されたマッチングの候補点 (右)



図 7. 2つの画像を統合して得られた中間視点からの画像

グの候補点を抽出した結果を図 6 右側に示す。図 3 中の点は、これらの点群のうち、最終的に 2 つの画像の間でマッチングが行われた点を表す。

2 つの視点の間の中間地点の視点を想定した生成画像を図 4 に示す。提案する手法により、要求された位置に合わせて違和感のない画像を生成可能であることを確認した。2 つの視点の間を車載カメラが移動する際に撮影した動画から抽出した画像との比較を行い、実際の画像と大きく異なることのない画像であることが確認された。提案手法による画像生成の処理時間は 10 秒程度であり、実時間性の制約を満たすことができることが確認された。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 (計 4 件)

- [1] Nobuhiro Nakamura, Yuya Niimi, and Susumu Ishihara, Live VANET CDN: Adaptive Data Dissemination Scheme for Location-Dependent Data in VANETs, in proc. of 2013 IEEE Vehicular Network Conference, pp. 95-102, 査読有 (2013).  
DOI: 10.1109/VNC.2013.6737595
- [2] 金原辰典、石原進: GNU Radio を用いた無線アドホックネットワークにおけるデータ配信手法評価のための省スペース実験環境の構築, 情報処理学会論文誌, Vol. 54, No. 8, pp. 2025-2035, 査読有 (2013-08).  
<http://id.nii.ac.jp/1001/00094782/>
- [3] Tatsunori Kimpura and Susumu

Ishihara: Using GNU Radio for experimentation of data distribution in wireless ad-hoc networks, proc. the 6th international conference on mobile computing and ubiquitous networking (ICMU2012) 査読有 (2012-05)

<http://www.icmu.org/icmu2012/papers/FP-11.pdf>

- [4] Naruhiro Kusumine, Susumu Ishihara: Abiding Regional Data Distribution using Relay and Random Network Coding on VANETs, proc. the 6th IEEE international conference on advanced information networking and applications (AINA 2012), pp. 105-112, 査読有 (2012).  
DOI: 10.1109/AINA.2012.114

〔学会発表〕 (計 33 件)

- [1] 新美雄也, 石原進, VANET における位置依存情報に対する需要の地理的分布のビーコニングによる共有の効果, 情報処理学会高度交通システムとスマートコミュニティ研究会, 情報処理学会研究会報告, Vol. 2015-ITS-60, No. 6, pp. 1-8 (2015/2/25, 大阪大学東京オフィス, 東京都)
- [2] 伊藤亮輔, 石原進, ドライバの曖昧な撮影位置要求に対するコンテキスト情報に基づく車載カメラ画像の撮影位置決定方式の設計 電子情報通信学会モバイルネットワークとアプリケーション研究会 (2015.01.27, ホテルむさし, 和歌山県西牟婁郡白浜町)
- [3] Yuya Niimi, and Susumu Ishihara, Demand Map-Based Data Dissemination Scheme for Location Dependent Data in VANETs, in proc. of 8th international conference on mobile computing and ubiquitous networking (ICMU2015) (2015-1-20, Loisir Hotel Hakodate, Hakodate, Japan).
- [4] Satoshi Ishikawa, Yuichi Kobayashi, Toru Kaneko, Susumu Ishihara, and Atsushi Yamashita, A study on image generation with shifted perspective using two in-vehicle camera images, International Workshop on Advanced Image Technology 2015 (IWAIT2015) (2015-1-12, National Cheng Kung University, Tainan, Taiwan).
- [5] 石川諭, 小林祐一, 金子透, 石原進, 山下淳: 2 枚の車載カメラ画像からの視点変更画像生成に関する検討, 映像情報メディア学会年次大会 (2014/9/1, 大阪大学, 大阪府吹田市).
- [6] 松本克也, 伊藤亮輔, 石原進: 近接車両間協調動作に基づくセルラネットワークを用いた低サーバ負荷の車載カメ

- ラ画像提供手法, マルチメディア、分散、協調とモバイル DICOM2014 (2014/7/9, ホテル泉慶, 新潟県新発田市).
- [7] 岡本圭右, 石原進: 車々間通信における周期的なビーコン送信電力増減による事故リスクに応じた車両位置通知手法の評価, 情報処理学会モバイルコンピューティングとユビキタス通信研究会(2014/5/16, 健康文化村カルチャーリゾート・フェストーン, 沖縄県宜野湾市)
- [8] 中村暢宏, 新美雄也, 石原進: 要求頻度の変化に対応する車々間通信による適応的位置依存情報配信手法の評価, 情報処理学会モバイルコンピューティングとユビキタス通信研究会(2013/11/14, 広島市立大学, 広島県広島市).
- [9] Susumu Ishihara, Nobuhiro Nakamura, and Yuya Niimi, Demand-based Location Dependent Data Dissemination in VANETs, 19th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom 2013) (2013-10-1, Hyatt Regency Miami, FL, U. S. A.)
- [10] 石川諭, 小林祐一, 金子透, 山下淳, 石原進: 車載カメラ画像からの視点変更画像生成に関する検討, 精密工学会画像応用技術専門委員会 サマーセミナー2013, (2013/8/19, 石和びゅーほてる, 山梨県笛吹市).
- [11] 新美雄也, 中村暢宏, 石原進: VANET における類似位置指定情報要求の集約に基づく情報配信方法, マルチメディア、分散、協調とモバイル DICOM2013 シンポジウム (2013/7/10, ホテル大平原, 北海道河東郡音更町).
- [12] 恩田拓也, 新美雄也, 石原進, リアルタイム画像カーナビ実現の為にユーザインタフェースと問い合わせ実現方式の設計, 電子情報通信学会 2013 年総合大会(2013/3/20, 岐阜大学, 岐阜県岐阜市).
- [13] 金原辰典, 岡本圭右, 石原進, 車々間通信におけるビーコンの周期的な送信電力増減による車両位置通知性能向上の検討, 電子情報通信学会アドホックネットワーク研究会(2013/1/24, 作並温泉ゆづくし Salon 一の坊, 宮城県仙台市).
- [14] 中村暢宏, 石原進, 車両密度の違いを利用する VANET 向けプロトコルのための現実的な道路網情報を用いた評価方法, マルチメディア、分散、協調とモバイル (DICOM2012) シンポジウム (2012/7/4, ホテル百万石, 石川県加賀市).
- [15] 大江拓也, 山下淳, 金子透, 石原進, 浅間一, 画像群を用いた移動カメラの位置姿勢推定による任意視点画像の生

成, 映像情報メディア学会メディア工学研究会 (2012/2/18, 関東学院大学, 神奈川県横浜市).

- [16] 金原辰典, 石原進: ソフトウェア無線を用いた無線アドホックネットワークにおける情報配信の屋内外実験環境の構築, 情報処理学会モバイルコンピューティングとユビキタス通信研究会(2011/11/11, かがしま県民交流センター, 鹿児島県鹿児島市).
- [17] 楠嶺生宏, 石原進: VANET におけるランダムネットワークコーディングを利用した位置依存情報配信手法の時間・進行方向を考慮した改良, マルチメディア、分散、協調とモバイル (DICOM2011) シンポジウム (2011/7/7, 天橋立宮津ロイヤルホテル, 京都府宮津市).
- [18] 石原進, 中島和樹: GPGPU による無線ネットワークシミュレータ JiST/SWANS の高速化, 情報処理学会モバイルコンピューティングとユビキタス通信研究会(2011/6, 岡山大学, 岡山県岡山市).

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

石原 進 (ISHIHARA, Susumu)  
静岡大学・大学院工学研究科・准教授  
研究者番号: 10313925

### (2) 研究分担者

山下 淳 (YAMASHITA Atsushi)  
東京大学・大学院工学系研究科・准教授  
研究者番号: 30334957

金子 透 (KANEKO Toru)  
静岡大学・大学院工学研究科・教授  
研究者番号: 50293600  
(平成 24~25 年度)

小林 祐一 (KOBAYASHI Yuichi)  
静岡大学・大学院工学系研究科・准教授  
研究者番号: 60373304  
(平成 25~26 年度)

### (3) 研究協力者

坪井 務 (TSUBOI Tsutomu)  
楠嶺 生宏 (KUSUMINE Naruhiro)  
金原 辰典 (KIMPARA Tatsunori)  
恩田 拓也 (ONDA Takuya)  
中村 暢宏 (NAKAMURA Nobuhiro)  
岡本 圭右 (OKAMOTO Keisuke)  
新美 雄也 (NIIMI Yuya)  
伊藤 亮輔 (ITO Ryosuke)  
松本 克也 (MATSUMOTO Katsuya)  
上野 宏樹 (UENO Hiroki)  
石川 諭 (ISHIKAWA, Satoshi)  
大江 拓也 (OE, Takuya)